

УДК 669.2/.8.017

В. В. Шляров^{1*}, Я. Ван², Д. В. Загуляев¹, А. А. Абатурова¹¹ Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк² Университет Вэньчжоу, г. Вэньчжоу (КНР)

*shlyarov@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОТВЕРДОСТИ СПЛАВА Cu–Al, ПОЛУЧЕННОГО МЕТОДОМ ХОЛОДНОГО ПЕРЕНОСА МЕТАЛЛА

В настоящей работе использован метод на основе холодного переноса металла для аддитивного изготовления медно-алюминиевых сплавов. Послойным наплавлением на медную подложку получены образцы для дальнейшего измерения прочностных характеристик. В качестве характеристики, позволяющей сделать некое суждение о прочности, выступает микротвердость. Наплавка осуществлялась при использовании FANUC Robot M-10iA.

Ключевые слова: медь, аддитивные технологии, микротвердость, холодный перенос металла, наплавка, CMT

V. V. Shlyarov, Y. Wang, D. V. Zagulyaev, A. A. Abaturova

INVESTIGATION OF MICROHARDNESS OF Cu–Al ALLOY OBTAINED BY COLD METAL TRANSFER

Present work investigated the use of cold metal transfer surfacing for additive manufacturing of Cu–Al alloys. Samples for further measurement of strength characteristics were obtained by layer-by-layer deposition on a copper substrate. Surfacing was carried out with the use of FANUC Robot M-10iA.

Key words: copper, additive technologies, microhardness, cold metal transfer, cladding, CMT

С начала XX века активизировались исследования в области медных бронз с добавлением алюминия в качестве основного легирующего элемента, что объясняется отличной коррозионной стойкостью, обусловленной образованием плотного и стабильного пассивного слоя Al₂O₃. Коррозионная стойкость зависит от количества алюминия в сплаве [1].

Эти бронзы также демонстрируют высокую прочность, кавитационную и усталостную стойкость [2]. Сплавы системы Cu–Al применяются для изготовления гребных винтов крупных судов, тяжело нагруженных шестерней и зубчатых колес, корпусов насосов и т. д. Развитие новых технологий получения материалов и изделия позволит расширить круг потенциального использования медно-алюминиевых сплавов. Одним из таких направлений является аддитивное производство, или 3D-печать, которая уже достаточно активно используется в аэрокосмической и биомедицинской отраслях промышленности и в настоящее время изучается в качестве жизнеспособного производственного метода в строительном секторе [3]. Аддитивные технологии предлагают многочисленные преимущества по сравнению с обычными методами производства (литье, ковка, штамповка), такие, как геометрическая свобода, снижение расхода материала, формирование необходимой структуры на стадии производства и т. д.

Целью настоящей работы является установление прочностных характеристик сплава на основе системы Cu–Al, полученного методом холодного переноса металла. В работе использовались медная и алюминиевые проволоки, химический состав которых представлен на рис. 1.

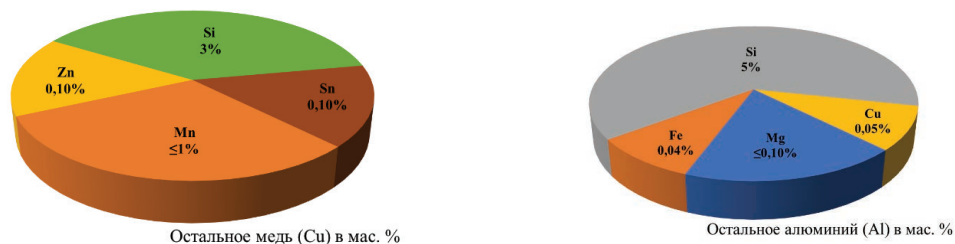


Рис. 1. Химический состав используемых проволок для получения объемных образцов методом холодного переноса металла

Наплавка медной проволоки осуществлялась с использованием робота с числовым программным управлением и многофункциональным устройством подачи проволоки для аргонодуговой сварки FANUC Robot M-10iA. Материалом для наплавки послужили медная и алюминиевая проволоки диаметром 1,2 см, наплавка осуществлялась в среде аргона на переменном токе. Подложка, на которую проводилось послойное наплавление, представляла собой медную пластину толщиной

10 мм. В результате наплавки были получены образцы высотой 10 см и толщиной 7 мм. В качестве характеристики, описывающей прочность исследуемого материала, выступает микротвердость. Измерение микротвердости проводили по методу Виккерса в соответствии со стандартом ИСО 6507–1:2005 «Материалы металлические. Определение твердости по Виккерсу. Часть 1. Метод испытания». Нагрузка на индентор составляла 1,96 Н (микротвердомер НХД–1000ТМ/LCD), время приложения и удержания нагрузки — 15 с, снятия испытательной нагрузки — 5 с. Схематическое представление сварочного робота и образца, который был получен в результате наплавки, показано на рис. 2.

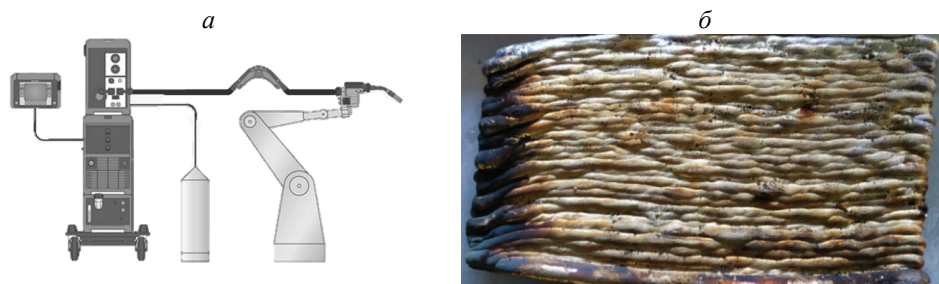


Рис. 2. Схематическое представление процесса наплавки с использованием FANUC Robot M-10iA:

а — схема сварочного робота; *б* — послойное наплавление металла на медную подложку

Для получения более достоверных экспериментальных данных из объема материала методом электроэрозионной резки был вырезан образец площадью 25×25 мм. Значение микротвердости полученного сплава усреднялось по 45 измерениям.

В результате работы установлен режим аддитивно-дуговой наплавки, позволяющий получать образцы заданных размеров. Измерения микротвердости показали, что средняя микротвердость сплава системы Cu–Al, полученного методом холодного переноса металла, составляет $164,81 \pm 8,22 \text{ HV}$. Наблюдается увеличение прочностных характеристик относительно сплавов системы Cu–Al, полученных методами литья. Полученные в работе экспериментальные результаты подтверждаются работами других авторов, исследующих механические характеристики сплава Cu–9Al–4Fe–4Ni–1Mn, полученного методом аддитивно-дуговой наплавки. Увеличение прочностных характеристик

сплава может быть связано с образованием более однородной и мелкозернистой структуры во время наплавки [4].

Литература

1. Interface corrosion behavior of copper-aluminum laminated composite plates in neutral salt fog / Y. Zhang [at al.] // *Materials Research Express*. 2019. V. 6 (9). 0965A3.
2. Exploring the fatigue strength improvement of Cu-Al alloys / R. Liu [at al.] // *Acta Materialia*. 2018. V. 144. P. 613–626.
3. Ultrafast laser-enabled 3D metal printing: A solution to fabricate arbitrary submicron metal structures / D. Wang [at al.] // *Precision Engineering*. 2018. V. 52. P. 106–111.
4. Microstructural evolution and mechanical behavior of nickel aluminum bronze Cu–9Al–4Fe–4Ni–1Mn fabricated through wire-arc additive manufacturing / C. Dharmendra [at al.] // *Additive Manufacturing*. 2019. V. 30. 100872.